

文章编号: 0253-9993(2008)08-0898-05

# 留巷钻孔法煤与瓦斯共采技术

袁 亮

(淮南矿业(集团)有限责任公司, 安徽 淮南 232001)

**摘 要:** 针对深井高地应力、高瓦斯含量、低渗透率煤层群开采效率低和深部开采面临的安全技术问题难以突破的现状, 提出煤与瓦斯共采新思路、新方法。揭示了采动影响区内顶板岩层裂隙的动态演化及采空区侧“竖向裂隙发育区”的形成规律、Y型通风方式下采空区的空气压力场分布和卸压瓦斯的流动规律, 建立了留巷钻孔法替代巷道钻孔法抽采卸压瓦斯的煤与瓦斯共采的新理论、新方法。

**关键词:** 留巷钻孔法; 煤与瓦斯共采; 低透气性煤层; 无煤柱; 沿空留巷

**中图分类号:** TD823.82      **文献标识码:** A

## The technique of coal mining and gas extraction by roadway retaining and borehole drilling

YUAN Liang

(Huainan Mining (Group) Co. Ltd., Huainan 232001, China)

**Abstract:** The new concept and method of coal mining and gas extraction were put forward to resolve the problems of low mining efficiency in deep multiple seams with high ground stress, high gas content and low permeability, and to break through the problems of safety and technology during the deep mining. The dynamic evolution of roof crannies in influenced mining zones and the formative rule of “the vertical cranny-abundant area” along the gob-side were researched, the distribution of the air pressure field in the gob and the flowing law of pressure-relieved gas under Y-style ventilation were discovered. The new concept and method of coal mining and gas extraction by roadway retaining and borehole drilling were built to take the place of roadway and borehole drilling method.

**Key words:** roadway retaining and borehole drilling; coal mining and gas extraction; low-permeability coal seams; none coal-pillar; gob-side roadway retaining

淮南矿区是我国构造复杂、高瓦斯、高地应力、低透气性煤层群煤矿的典型代表, 煤层瓦斯含量很高 ( $12 \sim 26 \text{ m}^3/\text{t}$ ), 煤质极为松软(坚固性系数  $f=0.2 \sim 0.8$ ), 煤层透气性很低(渗透率为  $0.987 \times 10^{-18} \text{ m}^2$ ), 瓦斯压力很大(高达  $6.2 \text{ MPa}$ )<sup>[1-2]</sup>。目前, 淮南矿业集团大部分生产矿井的开采深度已达  $-700 \sim -1000 \text{ m}$ , 且开采深度正以每年  $20 \sim 25 \text{ m}$  的速度增加, 瓦斯涌出量以每年  $100 \text{ m}^3/\text{min}$  的速度递增, 瓦斯含量梯度达  $4.61 \text{ m}^3/\text{hm}$  以上。新建矿井首采区多在距地表  $800 \text{ m}$  以下的深度。未来  $10 \text{ a}$ , 煤与瓦斯突出威胁继续增加, 软岩支护困难, 采空侧小煤柱地压大等很多问题日趋严重, 深部开采面临巨大的技术挑战<sup>[3-4]</sup>; 另一方面, 瓦斯(煤层气)是害也是宝, 它既是我国煤矿生产过程中的主要灾害, 也是一种新型的洁净能源和优质化工原料, 是 21 世纪的重要接替能源之一。

立足于淮南矿区煤层群开采条件, 将高瓦斯、高地压、低透气性煤层群的技术难题等统一起来考虑, 提出煤与瓦斯共采技术新思路: 首采关键卸压层, 沿首采工作面采空区边缘快速机械化构筑高强支撑体将回采巷道保留下来, 形成无煤柱连续开采, 实现全面卸压开采; 在留巷内布置上下向高低位抽采钻孔直达卸压瓦斯富集区域, 实现连续抽采卸压瓦斯与综采工作面采煤同步推进, 实现高效的工业化煤与瓦斯共采, 抽采的高、低浓度瓦斯分开输送到地面加以利用。

## 1 留巷钻孔法煤与瓦斯共采的基础理论

### 1.1 采动影响区内顶底板岩层裂隙的动态演化规律

煤层群首采关键卸压层开采后, 采空侧垮落带岩体呈不规则堆积, 沿工作面推进方向, 采空侧空隙分布呈“O”型, 由于煤层气密度小, 气体上浮, 采空区瓦斯易于富集在上部沿空留巷采动垮落空隙区 (如图1中的上部采空区顶区空隙区)。规则垮落带和断裂带中顶板岩层产生卸压膨胀, 存在竖向裂隙发育区 (如图1中的断裂带内的竖向裂隙发育区), 该区域离层裂隙和竖向破断裂隙发育, 横向和竖向裂隙贯通, 并和不规则垮落带相连通, 为围岩卸压瓦斯和本煤层工作面采空区积聚的瓦斯提供良好的储集场所。弯曲下沉带内由于煤体发生膨胀变形, 弯曲下沉带内煤体中离层裂隙为主, 煤层的透气性显著增加, 处于弯曲下沉带远程竖向卸压裂隙区 (如图1中的远程卸压煤层离层发育区) 的煤层中富含高压卸压瓦斯, 煤层离层裂隙发育, 为远程卸压抽采瓦斯提供了良好的通道。这些研究为卸压煤层气抽采钻孔的布置提供了理论依据。

### 1.2 留巷“Y”型通风方式下采空区的空气压力场分布和卸压瓦斯的流动规律

首采关键卸压层开采后, 在采空区上部走向方向上存在一连通的竖向裂隙发育区。该竖向裂隙发育区的存在, 为采空区积存的高浓度瓦斯和上覆卸压煤岩层的卸压瓦斯流动提供了流动通道和空间, 是采空区高浓度瓦斯富集区域。采空区遗煤解吸瓦斯和上、下邻近煤层卸压瓦斯通过采动裂隙流向采空区, 并在采空区及其顶板竖向裂隙区内聚集, 形成高浓度瓦斯库。沿空留巷“Y”型通风工作面上、下巷均进风, 工作面上隅角处于进风侧, 解决了工作面上隅角瓦斯超限问题; 工作面实际通过风量较“U”型通风低, 工作面上、下两端压差小, 工作面采空区漏风量小, 采空区漏风携带的瓦斯量小; 沿空留巷通过密实性支护形成较好的封闭区域, 易于在工作面采空区形成高浓度瓦斯库。由于瓦斯密度小, 采空区瓦斯积聚在工作面采空区上部<sup>[5]</sup>及其上覆岩层卸压竖向裂隙区。

在沿空留巷采空区顶板卸压区, 对于来自开采层和卸压层, 通过采空区上覆岩层受采动影响形成的裂隙通道汇集到采空区上部及竖向带状裂隙区内的解吸游离瓦斯, 在沿空留巷内由布置在卸压竖向带状裂隙区中的倾向抽采瓦斯钻孔进行抽采, 卸压竖向带状裂隙区位于“Y”型通风工作面回风留巷的采空区顶板垮落带以上的离层断裂带内。

如图2所示, 在煤层开采后, 将工作面的上巷采空区侧通过支护形成沿空留巷, 作为采煤工作面回风巷, 以工作面机巷 (下巷) 和材料巷 (上巷) 作为进风巷, 并以工作面机巷作为主进风巷, 进风量占工作面总进风量的2/3~3/4, 以材料巷作为辅助进风巷, 进风量为工作面总进风量的1/4~1/3, 工作面回风由沿空留巷经边界回风巷或回风石门流出, 建立沿空留巷“Y”型工作面通风系统。

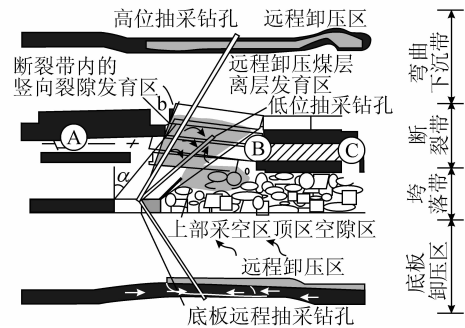


图1 采动覆岩移动“竖三带”、“横三区”和“裂隙三发育区”模型

Fig.1 Mining overburden rock movement model of “three vertical belts”, “horizontal three areas” and “the crevasse three growth areas”

A——煤壁支撑影响区; B——离层区;  
C——重新压实区;  $\alpha$ ——顶板破断角

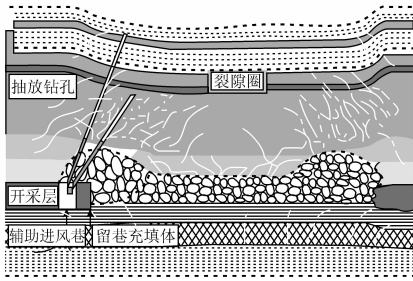


图 2 留巷钻孔法卸压瓦斯抽采原理

Fig. 2 Schematic diagram of pressure-relieved gas extraction of roadway retaining and borehole drilling

## 2 留巷钻孔法煤与瓦斯共采技术

### 2.1 留巷钻孔法煤与瓦斯技术原理

根据煤层赋存条件,如图 1 所示,首采关键卸压层,沿采空区边缘沿空留巷实施无煤柱连续开采,通过快速机械化构筑高强度支撑体将回采巷道保留下来,沿空留巷与综采工作面推进同步进行,在留巷内布置钻孔抽采临近层卸压瓦斯,通过倾向钻孔抽采断裂带顶(底)板卸压瓦斯和采空区富集瓦斯,工作面埋管抽采低位卸压瓦斯,防止采空区瓦斯大量向工作面涌出,以留巷替代多条岩巷抽采卸压瓦斯,大大减少岩

巷和钻孔工程量,实现煤与瓦斯安全高效共采.该方法已成功应用于两淮矿区 6 个典型工作面,为今后深井低透气性高瓦斯煤层群煤与瓦斯共采及瓦斯利用提供了科学可靠的技术保障和示范.

### 2.2 留巷钻孔法瓦斯抽采技术

#### 2.2.1 低位钻孔抽采采空区富集瓦斯技术

在沿空留巷中设置抽采瓦斯管道,各倾向抽采瓦斯钻孔与抽采瓦斯管道形成连通,构成采空区上部及环形裂隙圈内的解吸游离瓦斯通过倾向抽采瓦斯钻孔,并通过抽采瓦斯管进入瓦斯抽采系统.倾向抽采瓦斯钻孔布置的参数选取:终孔位置距采煤工作面回风巷的水平距离为 10~30 m,距煤层顶板法向距离 8~10 倍采高,并且不小于 30 m;倾角小于采动卸压角,缓倾斜煤层钻孔倾角不大于 80°,急倾斜煤层钻孔倾角不大于 75°;施工时间在采煤工作面采后 20 m 以后,钻孔直径不小于 90 mm;钻孔成组设置,每组数量不少于 2 只,钻孔偏向工作面的角度 60~70°,抽采钻孔组间间距 20~25 m;孔口的封孔长度在开采煤层顶板法向上大于采动规则垮落带的高度,且抽采钻孔法向封孔深度不小于 5 倍采高.

中近距离保护层开采工作面,由留巷回风巷中施工的抽采瓦斯钻孔可直接穿过上保护层,进行被保护层卸压瓦斯抽采.

#### 2.2.2 高位钻孔抽采顶底远程卸压煤层瓦斯技术

淮南矿区煤层赋存为煤层群,主要为 A, B, C 三组煤层群,组间间距超过 70 m<sup>[6]</sup>,首采关键卸压煤层后,老区开采上卸压层倾向卸压范围( $K < 1.0$ )向底板方向发展的深度达到 100 m,新区开采上卸压层倾向卸压范围向底板方向发展的深度达到 80 m.老区开采下卸压层倾向卸压范围( $K < 0.9$  区域)向顶板方向发展的高度达到 130 m,新区开采下卸压层倾向卸压范围向顶板方向发展的高度达到 150 m.

当远程卸压煤层与首采卸压层中间具有致密隔气性较好的泥岩时,远程煤层中的高压煤层气不能通过中间卸压层流入首采关键层的采动空间.传统的远程卸压煤层瓦斯卸压抽采方法是在首采卸压煤层开采前,在远程卸压煤层底板布置走向岩石巷道,在底板巷中每间隔一定距离设置钻场,在钻场中成组布置上向穿层抽采瓦斯钻孔,利用采动卸压进行远程卸压煤层瓦斯高效抽采.沿空留巷“Y”型通风方式的留巷为远程卸压煤层提供了抽采远程卸压煤层瓦斯抽采钻孔的布置空间,在留巷内布置上向穿层钻孔抽采上部远程卸压煤层瓦斯,下向穿层钻孔抽采下部远程卸压煤层瓦斯.

远程倾向穿层抽采瓦斯钻孔布置参数:倾角小于采动卸压角,缓倾斜煤层钻孔倾角不大于 80°,急倾斜煤层钻孔倾角不大于 75°,钻孔倾角一般取 50~65°;下向抽采瓦斯钻孔倾角一般取 -50~-80°.施工时间在采煤工作面采后 20 m 以后,钻孔直径不小于 90 mm;成组设置,每组数量不少于 2 只,钻孔偏向工作面的角度 60~90°,上向穿层抽采钻孔组间间距 20~25 m,下向穿层抽采钻孔组间间距 10~15 m.孔口端设套管,上向抽采钻孔孔口的封孔长度在开采煤层顶板法向上大于采动规则垮落带的高度,且抽采钻孔法向封孔深度不小于 5 倍采高,下向抽采钻孔的封孔长度不小于 15 m.

#### 2.2.3 留巷钻孔抽采瓦斯的保障技术

在沿空留巷段实施埋管抽采瓦斯技术，通过控制采空区埋管抽采管道口的数量和开启程度控制采空区瓦斯抽采量和抽采瓦斯浓度，改变采空区瓦斯流场和瓦斯浓度场分布，控制采空区瓦斯涌出，实现工作面的安全生产；采用沿空留巷“Y”型通风方式，可通过工作面上、下进风巷风量，将留巷排放瓦斯的浓度合理控制在安全值以下，提高了工作面瓦斯管理的安全可靠性。

### 2.3 留巷钻孔法瓦斯抽采效果考察

新庄孜煤矿 52210 工作面风巷的单孔试验考察结果表明：对倾角小于 25° 的低位钻孔，工作面回采过钻孔 10 m 后由于顶板垮落将钻孔切断，抽采瓦斯浓度和抽采瓦斯量迅速降低；对角度大于 55° 的高位钻孔，由于本风巷为二次留巷，大角度高位钻孔可能通过采动裂隙与上阶段采空区沟通，抽采瓦斯浓度低；倾向抽采钻孔角度在 25 ~ 55° 之间时，工作面回采过钻孔位置 20 m 后抽采钻孔仍能保持较长时间的高浓度抽采，正常条件下单孔抽采纯瓦斯量约 0.7 m<sup>3</sup>/min，个别钻孔可高达 2.8 m<sup>3</sup>/min，采后钻孔稳定高浓度抽采时间为 20 ~ 30 d。

图 3 为新庄孜煤矿 52210 工作面风巷下向穿层钻孔抽采瓦斯的单孔考察结果。由图 3 可以看出，由于 B<sub>8</sub> 煤层距 B<sub>10</sub> 煤层层间距 40 m，风巷下向穿层钻孔是在采后留巷中施工，基本上抽采 B<sub>8</sub> 采动卸压瓦斯，单孔抽采瓦斯量基本为 0.20 m<sup>3</sup>/min，最大约 0.45 m<sup>3</sup>/min，钻孔稳定的高浓度瓦斯抽采时间为 20 ~ 30 d，抽采的瓦斯浓度高（60% ~ 90%）。工作面回采 100 m 后，底部远程 B<sub>8</sub> 卸压煤层的抽采瓦斯量 6 ~ 8 m<sup>3</sup>/min。

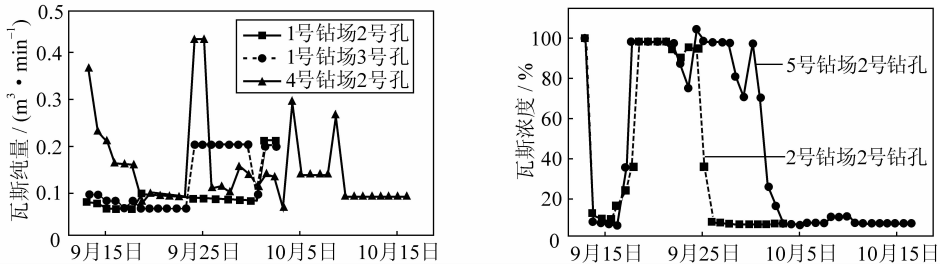


图 3 单孔抽采瓦斯量及瓦斯浓度

Fig. 3 Gas quantity and gas concentration situation of he single-hole extraction

由图 4 可以看出，虽然埋管抽采瓦斯的浓度在 10% 左右，但由于埋管抽采瓦斯的混合量大（120 ~ 150 m<sup>3</sup>/min，最大 250 m<sup>3</sup>/min），改变了采空区流场结构，有效解决了工作面上隅角瓦斯积聚问题，因此是保证工作面安全生产的重要技术措施之一。

### 2.4 卸压瓦斯抽采及利用

在首采关键卸压层“Y”型通风工作面的沿空留巷内布置两路瓦斯抽采系统：一路与倾向高（低）位钻孔抽采管、下向穿层钻孔抽采管连通，接通永久抽采系统；一路与采空区埋管连通，接通井下移动抽采系统。

各倾向抽采瓦斯钻孔连接到集气装置，通过软管连通瓦斯抽采管，进入瓦斯抽采系统，在抽采瓦斯钻孔与集气装置连接处设置控制闸阀，根据倾向顶、底穿层抽采瓦斯钻孔的单孔抽采瓦斯流量、浓度情况，决定控制闸阀的开启或关闭，进而控制抽采时间和抽采浓度，实现高浓度瓦斯连续抽采；工作面在充填体施工过程中，每间隔 10 m 预留一直径不小于 150 mm 的抽采管道，通过三通和连接管接入抽采管道上，在每一分支管道上设置一个闸阀，通过闸阀控制同时埋管抽放的数量，在留巷内保持 6 ~ 8 个采空区抽采管道与埋管抽采主管道连通，抽放口与工作面上口的距离在 20 ~ 80 m 之间，其它的采空区抽采管道的闸阀关闭。当工作面瓦斯涌出量大或瓦斯涌出异常时，通过控制采空区埋管抽采管道口的数量和开启程度控制采

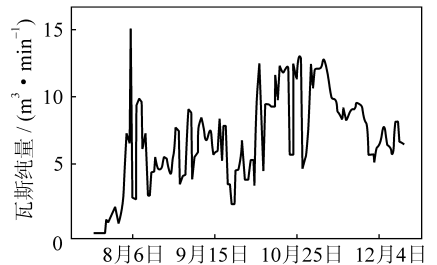


图 4 采空区埋管瓦斯抽采量变化

Fig. 4 Gas quantity change of the gob installation pipe extraction

空区瓦斯抽采量和抽采浓度,实现低浓度瓦斯单独连续抽采.

抽采的高浓度瓦斯(浓度 $\geq 30\%$ )经永久抽采系统输送到地面可直接用于:民用燃气、工业锅炉燃气、瓦斯发电;抽采的低浓度瓦斯可利用于:低浓度瓦斯(10%~20%)发电、锅炉瓦斯助燃( $< 5\%$ )、矿井风排瓦斯发电(0.1%~5%)等.高浓度瓦斯、低浓度瓦斯分开抽采,方便了瓦斯的进一步利用,提高了瓦斯利用效率.

### 3 结 论

(1) 首采关键层开采后留巷采空侧顶板存在“楔形竖向裂隙发育区”,其位于采空区顶板垮落带以上的离层断裂带内,是卸压瓦斯的富集区.

(2) 采用沿空留巷Y型通风方式,通过工作面上、下进风巷风量和留巷段埋管抽采量的调节,可以消除工作面瓦斯积聚,将留巷排放瓦斯的浓度合理控制在安全值以下.

(3) 留巷钻孔法连续抽采卸压煤层气技术创新了卸压开采抽采瓦斯的方法,通过上、下向穿层钻孔抽采瓦斯的单孔试验考察结果表明:留巷钻孔法替代巷道钻孔法抽采卸压瓦斯,巷道和钻孔工程量大大减少,效益和效率显著提高.

(4) 永久抽采系统抽采倾向高(低)位钻孔、下向穿层钻孔高浓度瓦斯,井下移动抽采系统抽采采空区低浓度瓦斯,方便了抽采瓦斯的进一步利用,提高了利用效率.

(5) 留巷钻孔法煤与瓦斯共采技术为解决高瓦斯、高地压、低透气性煤层群的煤与瓦斯共采难题提供了科学可靠的技术途径,为安全高效的工业化煤与瓦斯共采及瓦斯利用提供了新思路.

### 参考文献:

- [1] 袁 亮. 远松软低透煤层群瓦斯抽采理论与技术 [M]. 北京:煤炭工业出版社, 2004.  
Yuan Liang. Theory and technology of gas drainage and capture in soft multiple coal seams of low permeability [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2004.
- [2] 袁 亮. 高瓦斯矿区复杂地质条件安全高效开采关键技术 [J]. 煤炭学报, 2006, 31 (2): 174-178.  
Yuan Liang. Key technique of safe and high efficiency mining in highly gassy mining area with complex geologic conditions [J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31 (2): 174-178.
- [3] 袁 亮, 刘泽功. 淮南矿区开采煤层顶板抽放瓦斯技术的研究 [J]. 煤炭学报, 2003, 28 (2): 149-152.  
Yuan Liang, Liu Zegong. Study on the technique of roof gas drainage from mine coal seam in Huainan mine area [J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28 (2): 149-152.
- [4] 袁 亮. 复杂特困条件下煤层群瓦斯抽放技术研究 [J]. 煤炭科学技术, 2003, 31 (11): 1-4.  
Yuan Liang. Research on gas drainage technology for seam group with complicated and difficult conditions [J]. Coal Science and Technology, 2003, 31 (11): 1-4.
- [5] 刘泽功, 袁 亮, 戴广龙, 等. 采场覆岩裂隙特征研究及在瓦斯抽放中应用 [J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2004, 24 (4): 10-15.  
Liu Zegong, Yuan Liang, Dai Guanglong, et al. Study on the characteristics of the gob roof cracks in stopes and its application in gas drainage [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2004, 24 (4): 10-15.
- [6] 程远平, 俞启香, 袁 亮, 等. 煤与远程卸压瓦斯安全高效共采试验研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (2): 132-136.  
Cheng Yuanping, Yu Qixiang, Yuan Liang, et al. Experimental research of safe and high-efficient exploitation of coal and pressure relief gas in long distance [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33 (2): 132-136.